

# Snímače teploty do prostředí se zvýšenými požadavky na hygienu a sanitaci

Karel Kadlec

Článek doprovázející přehled trhu snímačů teploty splňujících zvýšené požadavky na hygienu a sanitaci popisuje funkční principy a uspořádání snímačů teploty, které musí vyhovovat požadavkům potravinářských a farmaceutických výrobních provozů, v nichž se používají čisticí a sanační procesy CIP a SIP. V závěru článku jsou uvedeny hlavní zásady pro montáž snímačů teploty spolu s popisem dynamických vlastností snímačů.

## Obecně o snímačích teploty

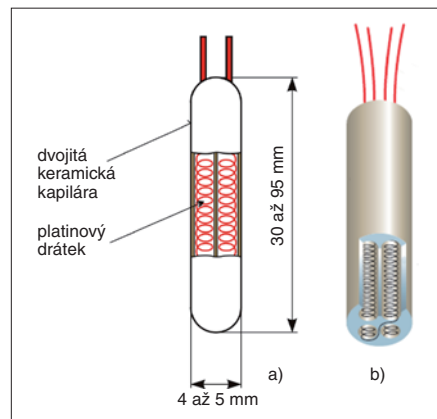
Teplota je veličina, která ovlivňuje téměř všechny stavy a procesy v přírodě. Při měření teploty  $t$  se využívá vždy nepřímá metoda, při níž se přímo měří obecně jiná veličina  $A$ , která je na teplotě  $t$  závislá podle určitého vztahu

$$A = f(t) \quad (1)$$

Vztah (1) může být více či méně složitý a z něho lze hodnotu teploty číselně vypočítat [1].

Základní jednotkou termodynamické teploty je kelvin (K). Nejčastěji se teplota měří ve stupních Celsia ( $^{\circ}\text{C}$ ). V USA se často používá Fahrenheitova teplotní stupnice s jednotkou stupeň Fahrenheita ( $^{\circ}\text{F}$ ). Pro přepčet platí vztah

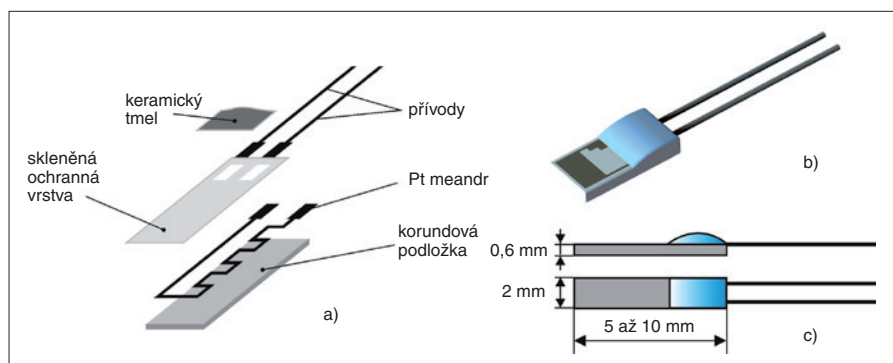
$$t(^{\circ}\text{F}) = t(^{\circ}\text{C}) \times 1,8 + 32 \quad (2)$$



Obr. 1. Drátový měřicí rezistor: a) schéma senzoru s přibližnými rozměry v mm, b) řez senzorem se čtyřvodičovým připojením

Snímač teploty jako konstrukční celek je tvořen několika součástmi. Základním prvkem je *senzor teploty* (čidlo). K měření teploty se využívá mnoho funkčních principů, které pokrývají široký rozsah měření teploty. V dalším textu je věnována pozornost senzorům teploty, které poskytují elektrický výstupní signál a jsou vhodné pro provozní měření teploty. Mezi takové senzory patří *termoelektrické* a *odporové senzory teploty*. Tyto senzory transformují teplotu na elektrický signál (napětí, proud, odpor) a jsou to nejčastěji používané senzory pro provozní měření teploty, pro čidla regulátorů při automatickém řízení tep-

loty i pro moderní přenosné teploměry. Důležitou součástí snímače je vlastní instalační aparatura opatřená připojovací hlavicí a procesním připojením pro montáž do technologického zařízení. Elektrické analogové nebo číslicové obvody pro zpracování signálu ze



Obr. 2. Tenkovrstvý odporový senzor: a) schéma senzoru, b) reálné provedení, c) přibližné rozměry v mm

senzoru se buď umísťují do hlavičky snímače a tvoří pak s vlastním snímačem teploty jediný konstrukční celek, nebo jsou konstrukčně odděleny a uzpůsobeny např. pro uchycení na lištu, popř. tvoří samostatnou vyhodnocovací jednotku. Snímače mohou být vybaveny programovatelným převodníkem, digitální komunikací, obvody pro diagnostiku a bezdrátovou komunikací pro přenos dat.

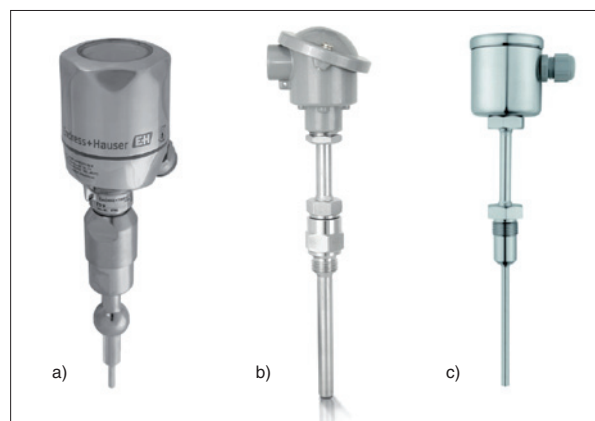
Senzor teploty se málokdy instaluje přímo do průmyslového technologického zařízení. Častěji je se umísťuje do teploměrové jímky,

kteřá jej chrání před nepříznivými provozními vlivy. Při umístění senzoru teploty do jímky jsou vždy ovlivněny jeho dynamické vlastnosti, jak je o tom pojednáno dále. Specifické požadavky jsou kladeny na aparatury snímačů používaných v potravinářských a farmaceutických výrobních, kde se kromě rychlé odezvy a vysoké přesnosti měření vyžaduje i pravidelné čištění a sterilizace aparatury. V těchto případech je důležitým faktorem splnění *požadavků na hygienu a sanitaci výrobního zařízení*.

## Procesy CIP a SIP v potravinářských a farmaceutických výrobních

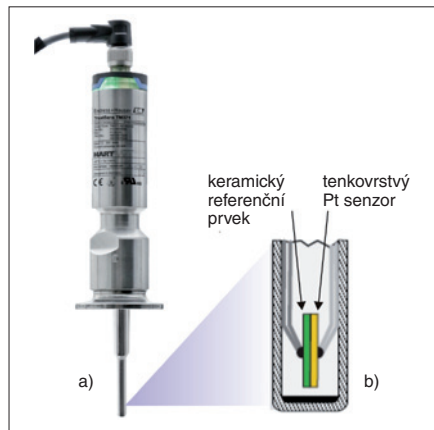
Samozřejmým postupem v potravinářských a farmaceutických výrobních procesech je čištění a sterilizace výrobního zařízení. Proto jsou výrobní linky v mlékárnách, pivovarech, v nápojovém průmyslu a ve farmaceutických výrobních uzpůsobeny tak, aby vnitřní povrchy výrobního zařízení byly vyčištěny bez nutnosti demontáže (popř. s demontáží jen v omezeném rozsahu).

Proces CIP (*Clean-In-Place*) je metoda čištění vnitřních povrchů potrubí, nádob, technologických zařízení, filtrů a příslušného vybavení bez demontáže. Výhodou procesu CIP je pro průmyslový podnik rychlejší čištění, méně náročné na pracovní sílu a opakovatelnější. Obsluha je při využití CIP méně vystavena rizikovým chemickým látkám. Zařízení pro čištění CIP se začala využívat nejprve při ručním řízení a zahrnovala např. vyrovnávací nádrž, odstředivé čerpadlo a připoje-



Obr. 3. Snímače teploty pro hygienické aplikace: a) E+H iTherm TM411, b) Krohne Optitemp TRA H10, c) JUMO 90.2810

ní k čištěnému systému. Jednoduchá, ručně ovládaná zařízení CIP lze nalézt i dnes. Současné aparatury CIP zahrnují mnoho provozních nádrží, výměníků tepla, ventilů, snímačů, plně automatizované systémy s programovatelnými logickými řadiči, čidla pro získávání dat a speciálně navržené systémy



Obr. 4. Samokalibrující se snímač TM371 (E+H): a) snímač TM371, b) schéma senzorní části

tryskek pro přívod čistících kapalin. Čistící operace se provádějí v řadě definovaných kroků. V závislosti na případu použití jsou čistící kapaliny zahřáty na teplotu až 100 °C. Aby byly odstraněny všechny nečistoty, je zapotřebí turbulentní proud čistícího média, přičemž rychlosti průtoku se obvykle pohybují mezi 1,5 až 3 m/s.

Proces SIP (Sterilization-In-Place), někdy nazývaný také Steam-In-Place, je rozšířením procesu CIP o dodatečnou sterilizaci bez nutnosti demontáže zařízení a měřicího zařízení. Po provedení čistícího postupu CIP se zařazuje sterilizace těch zařízení, na která jsou kladeny velké požadavky ohledně hygienické čistoty. Sterilizace je běžně vyžadována ve farmaceutickém průmyslu. Tento proces musí probíhat po dostatečně dlouhou dobu, aby byly všechny mikroorganismy usmrčeny horkou vodou nebo nasycenou čistou párou při vysokých teplotách (>121 °C). Proces SIP se obvykle provádí parou dodávanou z parního generátoru. Někdy se však provádí chemická sterilizace vhodným médiem.

Pro vlastní řízení postupů CIP a SIP musí být zařízení vybaveno potřebnou automatizační technikou (měření a řízení teploty a tlaku páry, popř. měření průtoku a složení čistících médií). Parametry teploty, tlaku, průtoku, koncentrace a doby expozice musí být řízeny systémem, který lze nakonfigurovat s několika možnostmi pro zajištění parametrů čistění a sterilizace a ty provádět spolehlivým, opakovaným a ověřitelným způsobem. Pro monitorování a řízení jednotlivých fází procesů CIP a SIP se obvykle využívají vhodná PLC.

Při použití materiálů, které jsou v kontaktu s potravinami, je nutné dodržovat závazná nařízení Evropského parlamentu ES-1935-2004 o materiálech a předmětech ve

styku s potravinami, ES-10-2011 o materiálech z plastů a ES-2023-2006 o správné výrobní praxi. Dále existují nezávazné standardy EHEDG (European Hygienic Engineering and Design Group) pro zařízení a materiály ve styku s potravinami, jejichž cílem je přispět k zajišťování výroby bezpečných a kvalitních potravin.

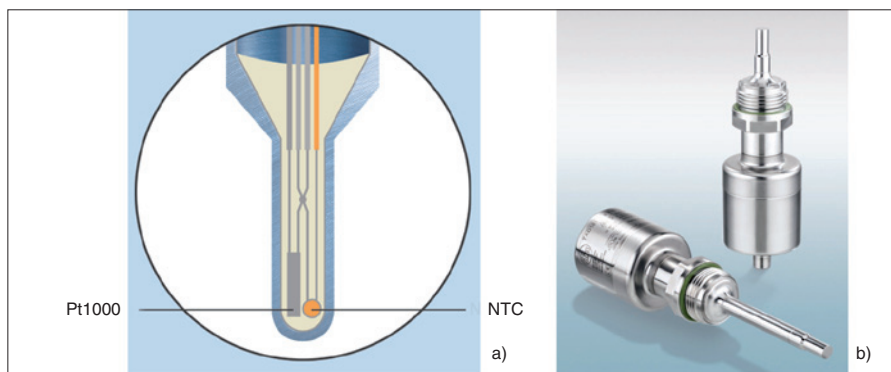
## Odporové senzory teploty

U odporových senzorů teploty se využívá závislost hodnoty elektrického odporu na teplotě, přičemž vlastní senzor může být realizován kovovým nebo polovodičovým rezistorem. Ve snímačích teploty pro potravinářské a farmaceutické výroby se nejčastěji využívají kovové odporové senzory vyrobené z platiny. Elektrický odpor  $R$  kovových vodičů vzrůstá s teplotou  $t$ . Pro čisté kovy je možné závislost vyjádřit polynomem se součiniteli  $A, B, C$

$$R = R_0 (1 + A t + B t^2 + C t^3 + \dots) \quad (3)$$

kde  $R_0$  je odpor při vztažné teplotě 0 °C. Hodnoty součinitelů  $A, B, C$  pro platinový odporový teploměr jsou uvedeny v ČSN EN 60751. V technické praxi lze vystačit s aproximační rovnicí 2. stupně.

Senzorem odporového snímače teploty je buď měřicí rezistor vinutý z platinového drátku, nebo plošný rezistor vytvořený tenkovrstvou technologií. Drátový měřicí rezistor je



Obr. 5. Snímač teploty s diagnostickým výstupem (www.ifm.com/cz): a) schéma snímače, b) snímač řady TAD

tvořen spirálovitě stočeným tenkým platinovým drátkem (o průměru 0,05 mm), který je uložen do keramického tělíska (obr. 1). Základní odpor při 0 °C činí  $R_0 = 100 \Omega$  a prvek je obvykle označován jako Pt100. Měřicí rozsah je od -200 do 850 °C.

Tenkovrstvý senzor má měřicí rezistor ve tvaru platinového meandru, který je vyroben moderní fotolitografickou metodou. Struktura senzoru je patrná z obr. 2. Platinový meандр je vytvořen na ploché korundové destičce technikou vakuového naprašování nebo naprašování a iontového leptání platinové vrstvy. Elektrický odpor se přesně nastavuje laserovým trimováním. Skleněná krycí vrstva chrání citlivý platinový měřicí prvek před znečištěním a poškozením. Tenkovrstvé sen-

zor teploty mají miniaturní rozměry a poskytují rychlejší odezvu než odpory drátové. Vyrábějí se nejen se základním odporem  $R_0 = 100 \Omega$  jako Pt100, ale i s větším odporem jako Pt500 či Pt1000. Měřicí rozsah bývá menší než u drátových senzorů, od -70 do 400 °C, popř. až do 600 °C [2].

Oproti tenkovrstvým senzorům jsou senzory s drátovým rezistorem časově stálejší, mají větší měřicí rozsah, ale horší dynamické vlastnosti a jsou náchylné na poškození při mechanických vibracích. Tenkovrstvé senzory mají zase velmi příznivé dynamické vlastnosti a vynikající odolnost proti vibracím.

## Provozní snímače teploty s odporovým senzorem

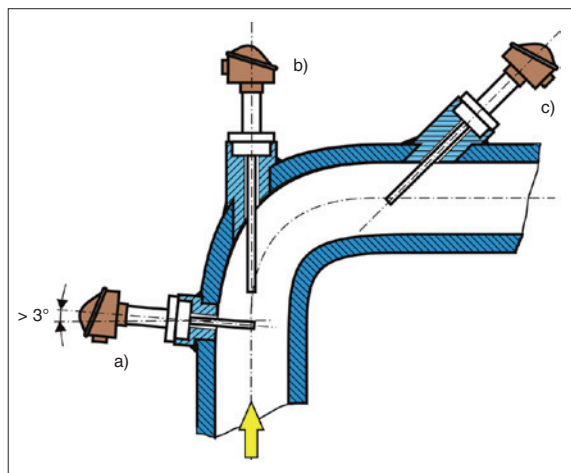
Na trhu je k dispozici velké množství provozních snímačů teploty, které splňují požadavky potravinářských a farmaceutických linek na hygienu a sanitaci. Vesměš jde o snímače vybavené inteligentním převodníkem. Na obr. 3 je uvedeno několik ukávek. Modulární snímač teploty iTherm TM411 od společnosti Endress+Hauser (obr. 3a) může být osazen buď tenkovrstvým senzorem (-50 až 200 °C) s velmi rychlou odezvou ( $t_{90} = 1,5$  s), nebo pro měření v širším rozsahu teplot (-200 až 600 °C) drátovým senzorem. V nabídce je více než 50 různých variant procesního připojení snímače. Snímač Optitemp TRA-H10 (obr. 3b), výrobek firmy Krohne, má odporový teplotní sen-

zor umístěný v konci stonku, který je vyplněn teplotnosnou pastou pro dosažení rychlejší odezvy a lepší odolnosti proti vibracím. V tomto provedení není senzor vyměnitelný (vyměnitelný senzor je u typu H20). Snímač pro potravinářský a farmaceutický průmysl typu 90.2810 od společnosti JUMO (obr. 3c) je možné vybavit adaptérem pro procesní připojení JUMO PEKA, který má certifikaci EHEDG. Příklady užití snímačů teploty i dalších snímačů provozních veličin spolu s názornými technologickými schémata z oblasti potravinářských a biotechnologických výrob je možné nalézt v materiálech firmy JUMO (www.jumo.de, na kartě Branchen/Industry). Další snímače spolu s vybranými technickými parametry najde čtenář v tabulce přehledu trhu na str. 30 a 31.

Unikátní vlastnosti vykazuje snímač iTherm TrustSens TM371 společnosti Endress+Hauser (obr. 4). Snímač je vybaven plně automatickou funkcí samokalibrace, která umožňuje monitorování teploty v hygienických a aseptických prostředích bez přerušení procesu a výrazně přispívá ke zvýšení přesnosti a spolehlivosti měření. Snímací jednotka tohoto přístroje je tvořena měřicím tenkovrstvým senzorem Pt100 spolu s vysoce přesným a dlouhodobě stabilním referenčním prvkem. Referenční prvek je vyroben z materiálu s definovanými feromagnetickými vlastnostmi, které se strmě mění při teplotě tzv. Curieho bodu. Tuto změnu lze elektronicky detekovat (např. podle změny elektrické kapacity materiálu). Referenční prvek ve snímači má teplotu Curieho bodu 118 °C. Při sterilizaci SIP je technologické zařízení vyhřáté horkou párou na teplotu vyšší než 121 °C. Poté při poklesu teploty na hodnotu 118 °C vyšle referenční prvek řídicí signál, platinový senzor současně změní aktuální teplotu. Porovná-

## Montáž snímačů do technologické aparatury

Jedním ze základních předpokladů správného měření teploty je vhodné umístění snímačů teploty do jednotlivých částí aparatury, a to tak, aby byl zajištěn správný přestup tepla a dokonalý styk s měřeným prostředím. Měřicí místo musí být voleno s ohledem na snadnou montáž, demontáž a údržbu snímače teploty.

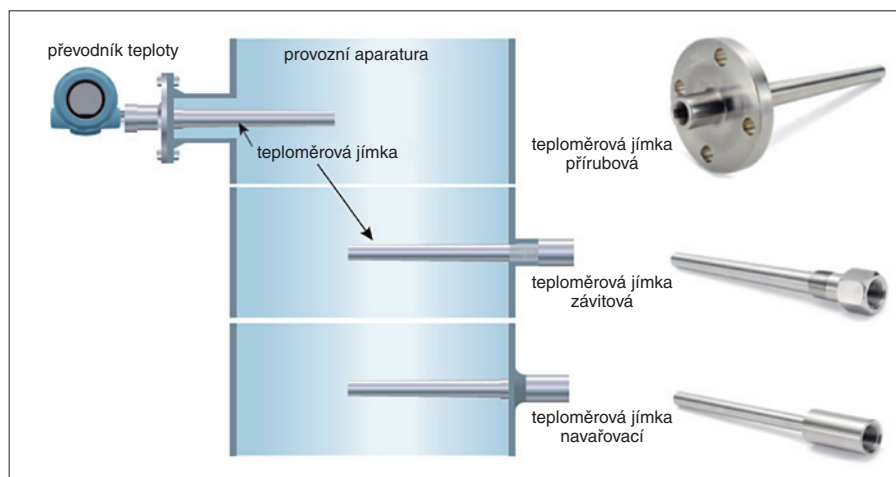


Obr. 6. Zabudování snímače teploty do potrubí

Pro zvýšení přestupu tepla se teploměr umísťuje do místa s vyšší rychlostí proudění, a nikoliv do koutů bez proudění. Senzor teploměru má zasahovat přibližně do osy potrubí. Do potrubí větších průměrů se umísťuje teploměr kolmo na směr proudění (obr. 6a) s odchylkou od kolmice minimálně o úhel 3°, aby se zajistilo samovypouštění kapaliny. U potrubí menších průměrů (do 200 mm) se umísťuje teploměr šikmo (pod úhlem 45°) proti směru proudění (obr. 6c), popř. do kolena potrubí proti směru proudění (obr. 6b). Při měření teploty kapalin v nádobách je třeba měřenou kapalinu míchat, aby byl zvětšen součinitel přestupu tepla a aby bylo dosaženo homogenního teplotního pole. Ztráty tepla vedením se omezí dostatečným ponorem teploměru.

Při provozním měření je nutné velmi často umístit snímač teploty do *teploměřové jímky*, která chrání teploměr před mechanickými a chemickými vlivy způsobenými např. změnami tlaku či agresivními chemickými vlastnostmi média. Teploměřové jímky jsou v podstatě uzavřené kovové trubky válcového nebo kuželovitého tvaru, které jsou nainstalovány do potrubí nebo do technologických aparatur a stávají se jejich nedílnou součástí. Nejčastěji používané typy teploměrových jímek (přírubová, závitová a navařovací) jsou schematicky znázorněny na obr. 7, v pravé části obrázku jsou ukázky teploměrových jímek od společnosti Emerson [5]. Při volbě materiálu jímky je třeba respektovat vlastnosti provozního média, rozmezí pracovní teploty a kompatibilitu s materiálem provozní aparatury. Z teploměrové jímky lze snímač snadno vyjmout např. při kalibraci nebo jeho výměně, aniž by bylo nutné narušit výrobní proces a aparaturu vyprázdnit. Pro zvýšení ochrany proti korozi a erozi bývají kovové jímky potaženy vhodným materiálem, např. plastem nebo smaltem, což se ale projevuje zhoršením dynamických vlastností.

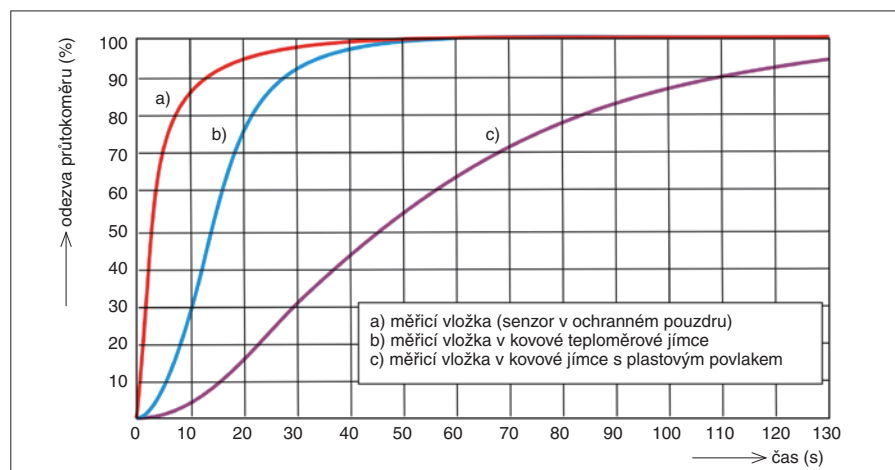
Umístění snímače teploty do jímky vždy značně ovlivní jeho dynamické vlastnosti. Je



Obr. 7. Základní typy teploměrových jímek (upraveno podle [5])

ním těchto dvou hodnot se provede kontrolní kalibrace tenkovrstvého platinového senzoru. Je-li odchylka měřené hodnoty mimo nastavené rozmezí, vyšle teploměr poruchové hlášení a současně je tento stav indikován červenou LED na hlavici snímače. Detailní popis snímače TM371 a jeho funkce je uveden v [3].

Lepší provozní spolehlivosti inteligentních snímačů teploty je možné dosáhnout také duálním provedením, tedy použitím dvou různých senzorových prvků, které se v průběhu procesu navzájem sledují. Tato diagnostická metoda zaznamená případnou odchylku senzoru. Duální provedení plní i zálohovací funkci. V případě poruchy jednoho ze senzorů může měření pokračovat s druhým senzorem. Snímač tohoto typu od firmy ifm electronic je na obr. 5 [4].



Obr. 8. Dynamické vlastnosti snímačů teploty s teploměrovou jímkou (upraveno podle [6])

to způsobeno tím, že hmotnost jímky bývá mnohdy několikanásobně větší než hmotnost vlastního senzoru a je dominantním faktorem rychlosti odezvy celého snímače. Na obr. 8 je ukázáno, jak způsob instalace snímače významně ovlivní časový průběh odezvy teploměru. Odezva na skokovou změnu teploty proudící vody byla měřena a) měřicí vložkou s odporovým teploměrem Pt100 v kovovém ochranném pouzdru o průměru 6 mm, b) měřicí vložkou vloženou do kovové teploměrové jímky, c) měřicí vložkou v teploměrové jínce opatřené ještě ochrannou plastovou vrstvou zabraňující korozi snímače [6]. Pro správné vyhodnocení teploty je nutné uvažovat vzniklou dynamickou chybu.

## Souhrn a závěr

Nejčastěji využívaným typem senzoru ve snímačích teploty, které jsou určeny pro potravinářské a farmaceutické výrobní provozy, jsou tenkovrstvé platinové senzory. Jejich vlastnosti zaručují požadovanou přesnost měření, mají velmi příznivé dynamické vlastnosti a výborně odolávají mechanickým vibracím.

## Literatura:

- [1] KADLEC, K. Měření teploty. *Měření a řízení chemických, potravinářských a biotechnologických procesů*. Ed. K. KADLEC, M. KMÍNEK, P. KADLEC. Ostrava: Key Publishing, 2017.
- [2] JUMO. *Teplotní senzory v provedení platinových čipů s přípojovacími vodiči podle DIN EN 60751*. [online]. [cit. 2018-4-19]. Dostupné

z: <http://www.jumo.cz/produkty/teplota/platinov%C3%A1-teplotn%C3%AD-cidla/2917/tenkovrstv%C3%A1.html>

- [3] PROKEL, D. Samokalibrující se snímač teploty iTherm TrustSens TM371. *Automa*. 2018, (2-3), 34–35.
- [4] ifm. Teplotní senzory od ifm. *Katalog ifm electronic*. 2015, 07.
- [5] ROSEMOUNT. *The Engineer's Guide to Industrial Temperature Measurement*. Ed. Emerson Process Management. 2013.
- [6] ABB. *Industrial temperature measurement. Basics and practice*. Ed. ABB 03/TEMP-EN Rev. D 09.2013.

doc. Ing. Karel Kadlec, CSc., Ústav fyziky a měřicí techniky VŠCHT Praha  
(karel.kadlec@vscht.cz)

# Z programu chystané konference Embedded Vision Europe

Evropské sdružení pro strojové vidění EMVA společně s veletržní správou Messe Stuttgart pořádají 12. a 13. října 2018 na výstavišti ve Stuttgartu odbornou konferenci o vestavných systémech pro strojové vidění Embedded Vision Europe. Součástí konference budou plenární přednášky, diskuse, doprovodná výstava i čas na osobní rozhovory mezi účastníky.

Uvedme alespoň tři z připravovaných přednášek. David Moloney je ředitel pro techniku strojového vidění New Tech Group společnosti Intel a na konferenci bude hovořit o konvolučních neuronových sítích pro detekci a klasifikaci objektů v obrazech. K nim patří např. AlexNet Alexe Krizhevského nebo novější a rozsáhlejší ImageNet. Vývoj směřuje ke stále hlubším a složitějším sítím, sice s lepšími výsledky, ale také s většími požadavky na výpočetní výkon a paměť. Mají-li se takovéto sítě používat v konkrétních produktech v praxi, vyžaduje to těsnou spolupráci mezi návrháři těchto sítí a techniky navrhujícími hardware pro zpracování obrazu, který pracuje na hraně těchto sítí.

Druhým z významných přednášejících bude Marco Jacobs, viceprezident pro marketing firmy Videantis. Jeho přednáška má název Demystifikace architektury vestavných systémů pro zpracování obrazů. Marco Jacobs uvádí, že algoritmy pro počítačové vidění učinily v posledních několika letech nesmírný pokrok. Vpřed je táhnou zejména takové obory, jako jsou autonomní vozidla,

virtuální a rozšířená realita, chytré zabezpečovací kamery nebo IoT. Ovšem i jednoduché algoritmy počítačového vidění potřebují velký výpočetní výkon a k tomu, aby mohly pracovat na vestavných systémech, kde jsou omezení z hlediska prostoru i napájení (mobilní telefony, tablety, drony atd.), je třeba speciální architektura. Marco Jacobs bude ve své přednášce analyzovat typické algoritmy a vysvětlovat, jak se liší z hlediska požadovaného výpočetního výkonu. Podá přehled různých architektur používaných k implementaci algoritmů zpracování obrazu: CPU, GPU, specializované procesory, FPGA a grafické akcelerátory. Bude je srovnávat z hlediska výkonnostních parametrů, ale i příkonu, velikosti a rovněž ceny. Zaměří se také na to, jak tyto komponenty začlenit do architektury systémů vyšší úrovně.

Jako třetí lze uvést přednášku Gilese Peckhama, který představí využití strojového učení v systémech zpracování obrazu. Giles Peckham je regionální ředitel marketingu společnosti Xilinx. Obvyklý přístup při navrhování algoritmů pro zpracování obrazu ve vestavných systémech a pro strojové učení využívá modelovací jazyky vyšší úrovně, jako jsou např. OpenVX, OpenCV nebo Caffé. Jakmile je algoritmus vytvořen, přeloží se do jazyka srozumitelného specifikovanému programovatelnému automatu. Tento překlad prodlužuje dobu vývoje, zvyšuje náklady a nese s sebou riziko chyb. Giles Peckham bude popisovat reVISION™, ak-

celerační stack, který podporuje jak Zynq® UltraScale+™ MPSoC, tak i Zynq®-7000 SoC a odstraňuje popsanou diskontinuitu mezi modelovacími jazyky vyšší úrovně a instrukcemi nižší úrovně. ReVision podporuje OpenVX i OpenCV ve sféře zpracování obrazů i Caffé v oblasti strojového učení. Základem akcelerátoru reVision je kompilátor SDSoC™, který umožňuje vývoj aplikací na systémové úrovni pro Zynq-7000 i Zynq MPSoC při použití jazyků vyšší úrovně, jako jsou C, C++ a OpenCL™. Vývojáři aplikací strojového vidění běžících na vestavných systémech tak mohou využívat výhody zařízení SoC a kanál zpracování obrazu implementovat do programovatelné logiky zařízení. Funkce dostupné v OpenCV umožňují vývoj algoritmů v běžném průmyslovém prostředí. Co se týče rozhodovacích funkcí, reVision poskytuje možnost definovat konvoluční neuronové sítě, které mohou být implementovány v programovatelném automatu. Díky odstranění hranice mezi systémy zpracování obrazu a systémy strojového učení je možné navrhovat systémy, které jsou citlivější a úspěšnější z hlediska výpočetního výkonu a lépe rekonfigurovatelné než tradiční systémy založené na GPU a CPU.

To je jen malá ukázka z bohatého programu konference. Celý program bude možné najít na [www.embedded-vision-emva.org](http://www.embedded-vision-emva.org), kde se lze také zaregistrovat.

(Bk)